

RATIONELL OMFOGNING AV TEGELFASADER

Experimentella studier av vatteninträngning

Mohammad Kahangi och Miklós Molnár

2021-09-08

FÖRORD

Projektet genomfördes under perioden september 2019 – augusti 2021 av doktoranden Mohammad Kahangi, fullständigt namn Seyedmohammad Kahangi Shahreza, vid Lunds tekniska högskola, Avdelningen för konstruktionsteknik. Projektet redovisas i sin helhet i Mohammad Kahangis licentiatuppsats [1] med titel

“Resistance of Clay Brick Masonry Façades to Wind-Driven Rain. Repointing of Eroded Mortar Joints”.

Huvudhandledare, tillika projektledare för projektet har varit docent Miklós Molnár, universitetslektor vid LTH Konstruktionsteknik. Docent Eva Frühwald Hansson, Dr. Jonas Niklewski, Dr. Ívar Björnsson, alla från LTH Konstruktionsteknik, har, tillsammans med teknologie licentiat Tomas Gustavsson, från konsultfirman Tomas Gustavsson konstruktioner AB, varit biträdande handledare.

Doktorandprojektet finansierades av SBUF samt Föreningen Tungt Murat och Putsat Byggande. Författarna tackar finansiärerna för deras stöd. Författarna tackar även medlemmarna i projektets styr- och referensgrupp för deras aktiva intresse och stöttning i form av delning av erfarenheter, underlättande av studiebesök, leveranser av material samt hjälp med skickliga murare.

Författarna tackar också laborieteknikerna Per-Olof Rosenkvist och Stefan Backe för praktisk hjälp med utveckling av försöksuppställningen.

Huvudförfattarna till denna rapport är Mohammad Kahangi och Miklós Molnár.

Lund, 8 september 2021

SAMMANFATTNING

Sverige har ett bestånd av tegelfasader med en sammanlagd yta som uppskattas vara en bra bit över 100 miljoner kvadratmeter. Fler tegelfasader tillkommer kontinuerligt, eftersom tegel är ett beprövat och uppskattat fasadmateriäl.

Genom relevant underhåll kan tegelfasader få en livslängd som ofta överstiger 100 år. I en murverkskonstruktion är fogarna en svagare komponent än murstenen. Genom att utföra omfogning när fogarna eroderats kan tegelfasaders livslängd förlängas. Normalt innebär omfogning att man avlägsnar de yttersta 25 millimetrarna, varefter man återfyller med murbruk.

Arbetet är slitsamt, eftersom hantverkarna är utsatta för vibrationer, buller och damm. Omfogning av ett enda flerbostadshus innebär normalt att flera kilometer fog måste fräsas ur, vilket medför en betydande kostnad för ägarna. Ett vanligt argument i sammanhanget är att fogerosion medför förhöjd vattenupptagning från slagregn. Även risken för regngennomslag anses kunna öka under nämnda förhållanden.

Syftet med doktorandprojektet vars resultat presenteras i denna rapport är att ta fram rationellt underlag för omfogning av tegelfasader. Målsättningen med doktorandprojektets första del har varit att genom främst experimentella studier klarlägga beteendet hos slagregnsutsatt tegelmurverk avseende vattenupptagning och regngennomslag.

I studierna utsattes provkropparna för simulerat slagregn genom kontrollerad, droppformig vattenbesprutning under 23 timmar. Provkropparna byggdes med tegel med olika vattenupptagningsegenskaper och tre olika fogtyper. Intensiteten i vattenbegjutningen motsvarade medelintensivt till starkt slagregn. Försöken så här långt genomfördes utan övertryck. Viktförändring, fuktfläckar på provkropparnas skyddade sida samt eventuellt läckage registrerades kontinuerligt.

Resultaten tyder på att eroderade fogar i sprickfritt tegelmurverk inte leder till varken förhöjd vattenupptagning eller regngennomslag. Regngennomslag startar först när murverket börjar bli mättat på vatten. Läckaget sker ofta lokalt, i gränsytan mellan fog och tegel. Detta tyder på att murverk innehåller områden med svagare regnmotstånd, antagligen på grund av mikrosprickor eller osynliga håligheter. Hantverkets kvalitet förefaller därför ha stor betydelse för regngennomslag.

Resultatens praktiska betydelse kan, så här långt, sammanfattas som att fogerosion i för övrigt välutfört, ej uppsprucket tegelmurverk, inte leder till varken förhöjd vattenupptagning eller regngennomslag. Istället för att som idag genomföra fullständig omfogning, kan därför en kombination av fasadvätt och partiell omfogning av murpartier med eroderade murfogar framstå som ett mer rationellt, kostnads- och resurseffektivt alternativ.

INNEHÅLL

BAKGRUND	4
SYFTE	4
GENOMFÖRANDE	4
LITTERATURSTUDIE	5
EXPERIMENTELLA STUDIER	5
NYUTVECKLAD FÖRSÖKSUPPSTÄLLNING	5
MATERIAL OCH PROVKROPPAR	6
FÖRSÖKSPLAN OCH MÄTNINGAR.....	8
RESULTAT	8
VATTENUPPTAGNING.....	8
FUKTFLÄCKAR PÅ DEN SKYDDADE SIDAN	9
VATTENGENOMSLAG.....	10
SLUTSATSER	11
LITTERATUR	11

BAKGRUND

Tegelfasader kännetecknas av mycket lång livslängd. Exponering mot klimatfaktorer som slagregn, frost och temperaturvariationer medför dock att främst murfogarna eroderas över tid. Kraftigt eroderade fogar uppfattas ofta som förfulande, samtidigt som det finns en uppfattning att fogerosion medför förhöjd vattenupptagning och ökad risk för regngennomslag. Som åtgärd genomförs omfogning, vilket innebär att fogens yttre del, cirka 25 millimeter, fräses bort, varefter utrymmet fylls med nytt murbruk, se Bild 1.



Bild 1. Tegelfasad från 1950-talet; före (vänster), under (mitten) och efter (höger) omfogning.

Beslut om omfogning baseras ofta på generella mallar, utan hänsyn till det aktuella behovet. Detta kan medföra onödigt stora utgifter samtidigt som omfogning är ett slitsamt arbete. Det uppskattas att man i Sverige under en tioårsperiod lägger 6 miljarder kronor på omfogning av tegelfasader.

SYFTE

Syftet med projektet var att ta fram rationellt underlag för omfogning av tegelfasader. Målsättningen har varit att genom främst experimentella studier klarlägga beteendet hos slagregnsutsatt tegelmurverk avseende vattenupptagning och regngennomslag. En annan målsättning har varit att identifiera metoder för bedömning av tegelmurverks tillstånd i samband med beslut om omfogning.

GENOMFÖRANDE

Projektet genomfördes i form av tre studier. Inledningsvis genomfördes en litteraturstudie avseende metoder för tillståndsbedömning av tegelmurverk, med fokus på metoder för utvärdering av fuktegenskaper i fält och labbmiljö. I nästa steg genomfördes två större experimentella labbundersökningar av vattenupptagning och regngennomslag hos murverk utsatt för simulerat slagregn.

LITTERATURSTUDIE

Målsättningen med litteraturstudien har varit att identifiera metoder för tillståndsbedömning av tegelmurverk. Fokus var på metoder som möjliggör fältmässig bedömning av tillståndet avseende fuktinnehåll och vattenupptagningssegenskaper. Kunskap om den senare kan användas till rationellt val av omfogningsbruk och beslut om eventuell förvattning av fasaden före omfogning.

Två metoder identifierades som praktiskt och kostnadsmässigt lämpliga i vanliga projekt – det så kallade RILEM tube samt Franke Platte. Utbudet av mer avancerade undersökningsmetoder är stort, samtidigt som deras användbarhet är mer begränsad på grund av höga kostnader, för både utrustningen och undersökningen. Litteraturstudiens resultat är publicerade i licentiatuppsatsen [1] och konferensartikel [2].

EXPERIMENTELLA STUDIER

Målsättningen med de experimentella studierna har varit att undersöka vattenupptagning och regngenoslag i slagregnsutsatt murverk. En central fråga i sammanhanget har varit att undersöka i vilken utsträckning eroderade murfogar påverkar vattenupptagning och regngenoslag. Arbetet genomfördes i tre steg:

1. Utveckling av försöksuppställning för simulering av slagregn;
2. Studie av vattenupptagning och regngenoslag i labbmiljö vid medelintensivt slagregn;
3. Studie av vattenupptagning och regngenoslag i labbmiljö vid starkt slagregn.

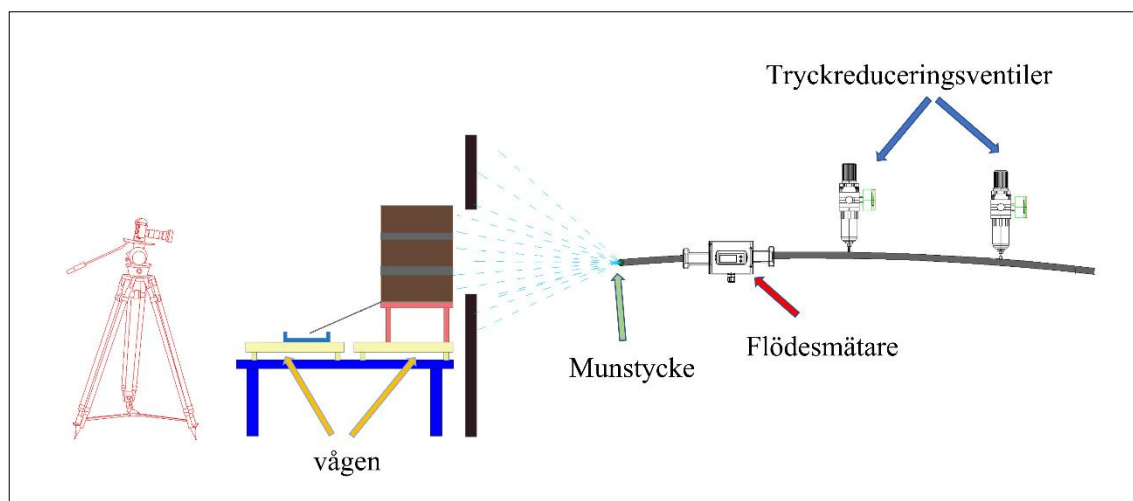
Nyutvecklad försöksuppställning

De flesta existerande metoder för att studera fasaders respons på slagregn har utformats utifrån målsättningen att snabbt kunna avgöra om fasaden släpper igenom slagregn. Typisk simulerad slagregnsintensitet ligger i området 50 – 150 l/m²/h, vilket bara inträffar i samband med tropiska stormar, under kortare tidsintervall. Vattnet appliceras så att en film bildas på den studerade ytan, ofta i kombination med ett övertryck på upp till 750 Pa.

I detta projekt har en annan typ av försöksuppställning utvecklats, med målsättningen att kunna:

- Skapa en droppformig, jämnt utspridd besprutning;
- Åstadkomma en besprutningsintensitet motsvarande medelintensivt till starkt slagregn;
- Mäta vattenupptagning och regngenoslag under hela försöket;
- Registrera utbredning av fuktfläckar på den skyddade sidan av provkropparna.

Den utvecklade försöksuppställningen visas schematiskt i Figur 1, medan det droppformiga mönstret i Figur 2. Det finns även möjlighet att applicera ett dynamiskt övertryck på upp till 100 Pa. Försöksuppställningens uppbyggnad beskrivs i detalj i vetenskaplig licentiatuppsatsen [1], tidskriftsartikel [3] samt konferensartikel [4].



Figur 1 Försöksuppställning för simulering av slagregn i labbmiljö



Figur 2 Vattenfläckar på sugande papper efter cirka två sekunders exponering för simulerat slagregn.

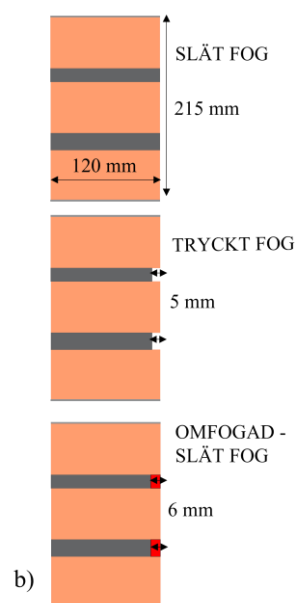
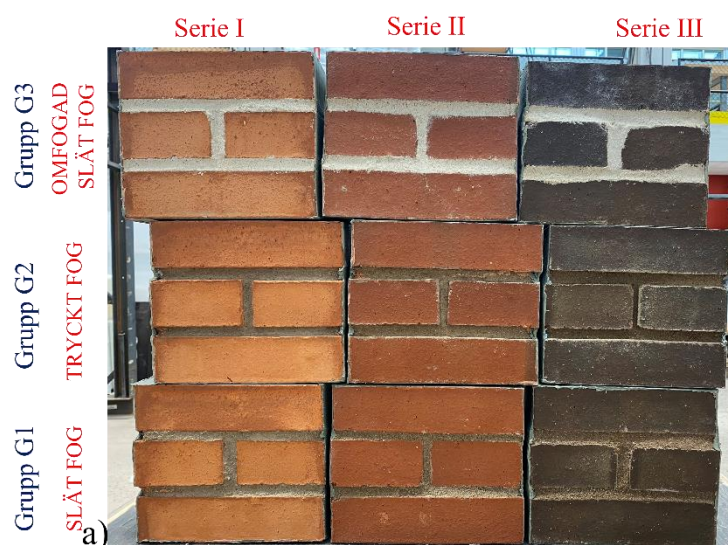
Material och provkroppar

Vid tillverkning av provkropparna kom tre olika sorters massivt tegel, med olika vattensugnings- och vattenmagasineringssegenskaper, till användning. Murbruk med hållfasthetsklass M 2,5 användes för alla provkropparna. De ingående materialens viktigaste egenskaper visas i Tabell 1.

Tabell 1 De använda materialens egenskaper – medelvärden.

Material	Mått (mm × mm × mm)	Densitet ρ (kg/m ³)	Minutsugning (kg/m ² /min)	CoV (%)	Vattenupptagning 24 timmar (%)	CoV (%)	Kapillaritets- koeff. A _w (kg/(m ² ·s ^{0.5}))	CoV (%)
Tegel typ I	250×120×62	1800	1.95	2.3	16.0	1.6	0.193	0.8
Tegel typ II	250×120×62	1990	1.81	5.1	8.6	14.5	0.133	16.1
Tegel typ III	240×115×62	2235	0.71	13.7	4.0	38.6	0.042	22.8
Murbruk M 2.5		1869	0.30	15.8	-	-	0.022	8.7
Murbruk NHL 3.5		1715	0.80	20.4	-	-	0.159	9.2
Murbruk NHL 5		1733	1.10	15.6	-	-	0.236	15.3

Provkropparna bestod av tre skift tegel, med två liggfogar och en stötfog. Tre fogtyper valdes: slät fog; tryckt fog; tryckt fog som i efterhand fylldes ut till slät fog, se Figur 3. Som omfogningsbruk användes två olika putsbruk med hydraulisk kalk (NHL) som bindemedel.



Figur 3. Provkroppar som användes i de två experimentella undersökningarna; a) exponerad sida; b) fogtyper; c) skyddad sida.

Tryckt fog valdes för att representera eroderade fogar. Provkropparna murades av en erfaren murare med målsättningen att inte innehålla några kända brister, till exempel håligheter eller sprickor. Provkropparnas sidor förseglades för att förhindra oönskad vattenupptagning.

Försöksplan och mätningar

Två större försöksomgångar genomfördes, där provkropparna utsattes för droppformad besprutning under sammanlagt 23 timmar. Varje försök bestod av sex cykler, med varje cykel bestående av 210 minuters besprutning, följt av 20 minuters avbrott.

I första serien, utsattes provkropparna för en besprutningsintensitet på mellan 2 – 3,6 l/m²/h, motsvarande medelintensivt slagregn. I andra serien var besprutningsintensiteten konstant, cirka 6,3 l/m²/h, vilket motsvarar starkt slagregn. Sammanlagt genomfördes 75 försök, se Tabell 2. Försöken genomfördes utan övertryck.

Tabell 2. Försöksplan

Experimentell omgång	Serie	Grupp	Tegel	Fogningsbruk	Fogtyp	Besprutn. intensitet (l/m ² /h)	Antal provkroppar
Första omgången A	Serie I	G1	Medelhög vattensugn. [I]	M 2.5	Slät	3.6	5
		G2	Medelhög vattensugn. [I]	M 2.5	Tryckt	3.6	5
		G3	Medelhög vattensugn. [I]	M 2.5 / NHL 3.5	Slät omfogad	3.4	5
	Serie II	G1-a	Medelhög vattensugn. [II]	M 2.5	Slät	3.2	5
		G1-b	Medelhög vattensugn. [II]	M 2.5	Slät	2.0	3
		G2	Medelhög vattensugn. [II]	M 2.5	Tryckt	2.3	8
		G3	Medelhög vattensugn. [II]	M 2.5 / NHL 3.5	Slät omfogad	2.0	8
		G3	Medelhög vattensugn. [II]	M 2.5 / NHL 3.5	Slät omfogad	2.0	8
Andra omgången B	Serie I	G1	Medelhög vattensugn. [I]	M 2.5	Slät	6.3	4
		G2	Medelhög vattensugn. [I]	M 2.5	Tryckt	6.3	4
		G3	Medelhög vattensugn. [I]	M 2.5 / NHL 3.5	Slät omfogad	6.3	4
	Serie II	G1	Medelhög vattensugn. [II]	M 2.5	Slät	6.3	4
		G2	Medelhög vattensugn. [II]	M 2.5	Tryckt	6.3	4
		G3	Medelhög vattensugn. [II]	M 2.5 / NHL 3.5	Slät omfogad	6.3	4
	Serie III	G1	Låg vattensugn. [II]	M 2.5	Slät	6.3	4
		G2	Låg vattensugn. [II]	M 2.5	Tryckt	6.3	4
		G3	Låg vattensugn. [II]	M 2.5 / NHL 5	Slät omfogad	6.3	4

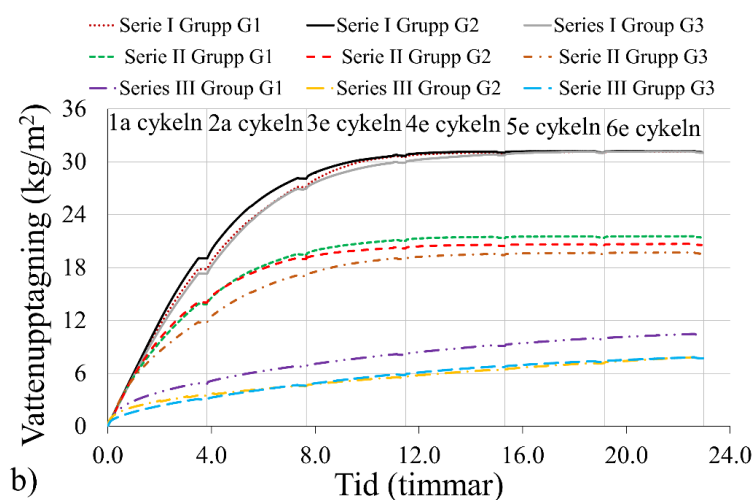
Vattenupptagning och vattengenomslag mättes kontinuerligt med precisionsvåg. För att upptäcka fuktfläckar, fotograferades den skyddade sidan av provkropparna varannan minut.

RESULTAT

Vattenupptagning

Vattenupptagningen i provkropparna påverkades huvudsakligen av besprutningsintensiteten, av teglets absorptionskoefficient samt teglets vattenmagasineringskapacitet. Andelen påfört vatten som skvätte bort varierade mellan 10 – 25 procent. I provkropparna med starkt sugande tegel och hög vattenmagasineringskapacitet, absorberades merparten av vattnet i den inledande fasen av försöken. Den huvudsakliga transportmekanismen i detta skede var kapillär sugning.

De yttre delarna av provkropparna med svagt sugande tegel blev vattenmättade inom mindre än en halvtimme. Allteftersom ytan blev mättad på vatten, bildades en vattenfilm på den exponerade ytan. Därefter avtog vattenupptagningen stegvis och de flesta provkropparna som användes i undersökningen uppnådde full eller nära full vattenmättad. Figur 5 visar typiska kurvor för vattenupptagningens beroende av exponeringstiden.

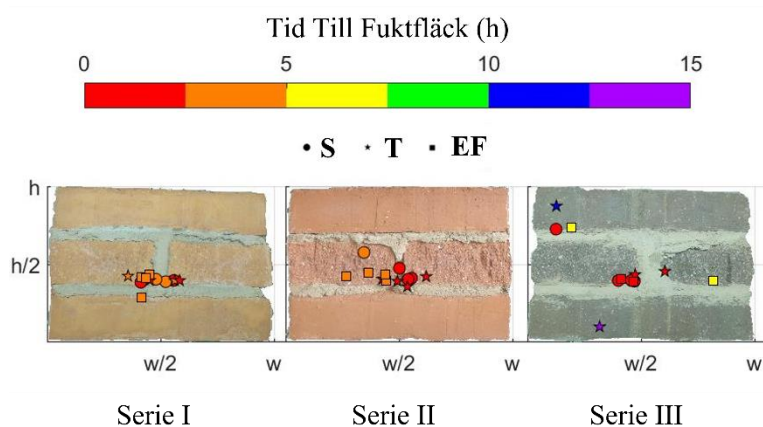


Figur 5 Vattenupptagning som funktion av exponeringstiden. Besprutningsintensitet 6,3 l/m²/h.

Av Figur 5 framgår att fogtypen inte hade någon inverkan på vattenupptagningen. Spridningen i resultaten kan huvudsakligen hänföras till variabiliteten i teglets fukttegenskaper.

Fuktfläckar på den skyddade sidan

Fuktfläckarna observerades först i närheten av stötfogen, se Figur 5.



Figur 5. Tid till upptäckten av den första synliga fuktfläcken på provkropparnas skyddade sida. Punkterna visar läget för den första fuktfläcken. Besprutningsintensitet 6,3 l/m²/h.

Detta resultat var väntat, eftersom det är känt att det i praktiken är svårt att helt fylla stötfogar med murbruk. Murbrukets krympning anses också bidra till att gränsskiktet mellan tegel och murfog kan innehålla mikrosprickor. Gränsskiktet lär därför uppvisa lägre motstånd mot vattenupptagning än både teglet och murfogarna.

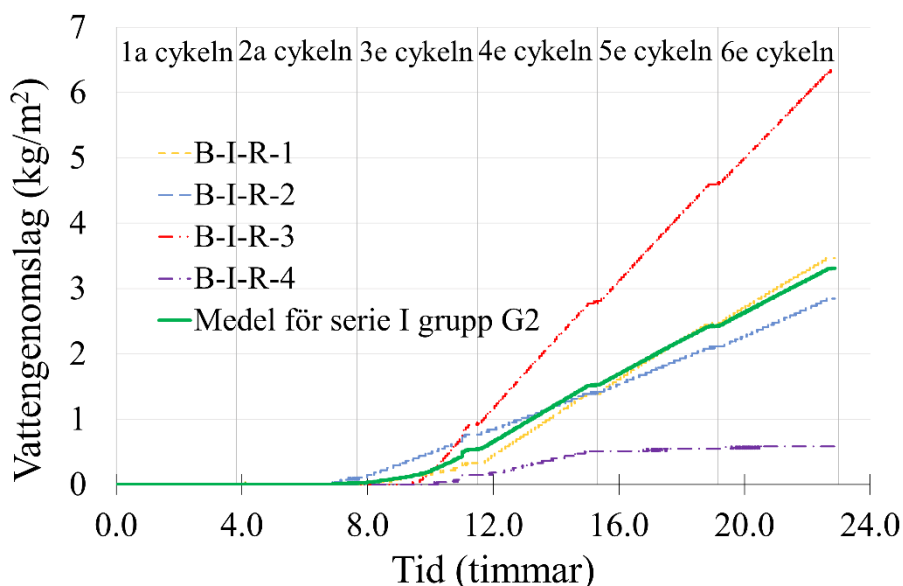
Tiden tills första fuktfläcken upptäcktes varierade mellan 5 – 8 timmar vid den lägre besprutningsintensiteten (2 – 3,6 l/m²/h) medan den var mellan 1 – 7 timmar vid den högre besprutningsintensiteten (6,3 l/m²/h).

Fuktfläckarna spred sig successivt till att täcka mellan 50 – 90 procent av den skyddade sidan efter 6 – 16 timmars exponering.

Resultaten tyder inte på något klart samband mellan fuktfläckarnas uppkomst och deras utbredning respektive typen av murfog.

Vattengenomslag

Vattengenomslag observerades först i samband med att provkropparna kom upp i närheten av vattenmättnad. Vid besprutning motsvarande starkt slagregn, tog det i genomsnitt mellan 8 – 10,5 timmar tills mätbart vattengenomslag kunde registreras. När det väl startade, uppmättes nivåer på vattengenomslag motsvarande mellan 2 – 6 procent av besprutningens intensitet. Det bör nämnas att rapporterade nivåer gäller för besprutningsintensitet motsvarande starkt slagregn (6,3 l/m²/h), utan något övertryck. Variationen mellan provkroppar av samma typ var stor, se Figur 6.



Figur 6. Vattengenomslag i provkroppar tillhörande serie I, grupp G2 i andra försöksomgången (besprutningsintensitet 6,3 l/m²/h)

Resultaten tyder inte på något klart samband mellan vattengenomslag och typen av murfog. Något tydligt samband kunde inte heller hittas mellan vattengenomslag och teglets vattenupptagningssegenskaper. Hypotesen är att den stora variationen i vattengenomslag beror på a) hantverkets kvalitet i samband med murningen, främst i form av bristfälligt fyllda fogar; b) egenskaper hos teglet, speciellt avseende inre sprickor som kan uppkomma i samband med lerans torkning och bränning.

En ytterligare hypotes, som kommer att verifieras i projektets andra del, är om hydrostatiskt tryck som byggs upp i håligheter och större sprickor kan fungera som drivkraft för vattengenomslag i vattenmättat murverk.

SLUTSATSER

De viktigaste slutsatserna från projektets första del är följande:

1. Eroderade fogar i sig leder inte till förhöjd vattenupptagning eller regngenomslag i sprickfritt tegelmurverk.
2. Tegelskalmurar kan i vanliga fall uppvisa en vattenmagasineringsförmåga som är tillräcklig för att buffra i Sverige normalt förekommande slagregnmängder. Under perioder med långsam uttorkning, kan tegelskalmurar bli mättade på vatten även vid mer blygsamma slagregnmängder.
3. Vattengenomslag i tegelmurverk utan sprickor startar först när väggen börjar bli mättad på vatten. Läckaget sker ofta lokalt, i gränsytan mellan fog och tegel. Detta tyder på att murverk innehåller områden med svagare regnmotstånd, antagligen i form av mikrosprickor eller osynliga håligheter.
4. Det finns indikationer på att gravitationskraft förefaller ha större betydelse för regngenomslag i murverk än tryckskillnader orsakade av vind. Fler studier behövs dock för att bekräfta hypotesen.
5. Hantverkets kvalitet, avspeglat genom murfogarnas fyllnadsgrad, förefaller ha stor betydelse för regngenomslag.

LITTERATUR

[1] M. Kahangi (2021d) - Resistance of Clay Brick Masonry Façades to Wind-Driven Rain. Repointing of Eroded Mortar Joints. Licentiate thesis, Report TVBK 1055, Lunds tekniska högskola, ISBN 978-91-87993-20-6.

[2] S. Kahangi Shahreza, M. Molnár, J. Niklewski, B. Björnsson, T. Gustavsson (2020b) - Making decision on repointing of clay brick facades on the basis of moisture content and water absorption tests results – a review of assessment methods. Proceedings of the 17th International Brick/Block Masonry Conference (17thIB2MaC 2020) p.617-623.

[3] S. Kahangi Shahreza, J. Niklewski, M. Molnár (2021b) - Experimental investigation of water absorption and penetration in clay brick masonry under simulated uniform water spray exposure. Journal of Building Engineering 43. p.102583-102583, DOI 10.1016/j.jobbe.2021.102583.

[4] S. Kahangi Shahreza, M. Molnár, J. Niklewski (2021c). Water absorption and penetration in clay brick masonry exposed to uniform water spray. Proceedings of the 14th Canadian Masonry Symposium (14th CMS), Montreal, Quebec, Canada, 16–20 May 2021.